



## بررسی میزان غلظت فلزات سنگین موجود در PM<sub>10</sub> هوای شهر اهواز

غلامرضا گودرزی<sup>۱</sup>، نادعلی علوی بختیاروند<sup>۲</sup>، محمد شیرمردی<sup>۳</sup>، محمد حیدری فارسانی<sup>۴\*</sup>،

کامبیز احمدی انکالی<sup>۵</sup>، الهه زلفی<sup>۶</sup> و مهدی وثوقی نیری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و عضو مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و عضو مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران  
<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران  
<sup>۴</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز و مسوول مدیریت پسماند بیمارستان امام خمینی (ره) آبادان، آبادان، ایران  
<sup>۵</sup> استادیار گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت و عضو مرکز تحقیقات فناوریهای زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران  
<sup>۶</sup> کارشناس ارشد آلودگیهای محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان، باشگاه پژوهشگران جوان، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۸

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲

### Heavy Metals Contents of PM<sub>10</sub> in Ambient Air of Ahvaz City, Iran

Gholamreza Goudarzi<sup>1</sup>, Nadali Alavi Bakhtiarivand<sup>2</sup>,  
Mohammad Shirmardi<sup>3</sup>, Mohammad Heidari Farsani<sup>4\*</sup>,  
Kambiz Ahmadi Ankali<sup>5</sup>, Elahe zallaghi<sup>6</sup> & Mehdi  
Vosoughi Niri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>3</sup>Ph.D Student of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Student Research Committee, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>4</sup>MSc. in Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran and Expert in Waste Management at Imam Khomeini Hospital, Abadan, Iran

<sup>5</sup>Assistant Professor, Department of Biostatistics, Faculty of Health and Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

<sup>6</sup>Islamic Azad University of Science and Research, Young Researchers Club, Ahvaz, Iran

#### Abstract

Ahvaz as the focal point of south western of Iran has impressed by Middle East Dust (MED) storms which has originated from Iraq, Saudi Arabia, Jordan, Syria and also Africa. The main objective of this study was to evaluate heavy metals contents of PM<sub>10</sub> during normal and dust event days in Ahvaz. High volume sampler device was selected to take sample at a high traffic area of the city. Result showed that during dust event days, the average concentrations of PM<sub>10</sub> were 300 and 278  $\mu\text{gm}^{-3}$  in the spring and summer, while during normal days, the corresponding values were 145 and 126, respectively. Findings of enrichment factors indicated that Al with low enrichment factor had crustal origin, whereas Pb and Zn with high EF had anthropogenic sources such as transportation as well as industrial emissions. In present study, the concentrations of PM<sub>10</sub> were higher than the standard values.

**Keywords:** Dust storms, Enrichment factor, High volume sampler, anthropogenic sources.

#### چکیده

اهواز به عنوان کانون مرکزی جنوب غربی ایران، تحت تأثیر طوفانهای گردو غبار خاورمیانه‌ای نشأت گرفته از عراق، عربستان سعودی، اردن، سوریه و همچنین آفریقا قرار گرفته است. هدف اصلی از این مطالعه بررسی میزان غلظت فلزات سنگین موجود در PM<sub>10</sub> در طی روزهای عادی و گردو غباری در شهر اهواز بود. یک دستگاه نمونه بردار با حجم بالا برای جمع آوری نمونه از یک منطقه پرتراфик شهری انتخاب گردید. نتایج نشان داد که در طول روزهای گردو غباری متوسط غلظت PM<sub>10</sub> در فصل بهار و تابستان به ترتیب ۳۰۰ و ۲۷۸ و در روزهای عادی به ترتیب ۱۴۵ و ۱۲۶ میکروگرم در مترمکعب بود. محاسبات فاکتور غنی سازی نشان داد که فلز آلومینیوم با فاکتور غنی سازی پایین دارای منشأ زمینی بوده در حالی که فلز روی و سرب با میزان فاکتور غنی سازی بالا ریشه در منابع انسان ساخت مانند حمل و نقل و انتشارات صنعتی داشتند. در طول دوره مطالعه غلظت PM<sub>10</sub> بالاتر از مقادیر استاندارد بود.

**کلمات کلیدی:** گردو غبار، فاکتور غنی سازی، نمونه بردار با حجم بالا، منابع انسان ساخت.

\* Corresponding Author. E-mail Address: heidarimfar@gmail.com

## ۱- مقدمه

گسترش روزافزون و بی‌رویه شهرها به همراه افزایش جمعیت، افزایش تعداد وسایل نقلیه و صنایع، تعمیر نامناسب وسایل نقلیه و نبود راهکار و استاندارد انتشار سخت‌گیرانه باعث ایجاد مشکلات آلودگی هوا در بیش‌تر کشورهای توسعه‌یافته شده است به‌طوری‌که بر اساس گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO) ۴ الی ۸ درصد مرگ‌های نابهنگام در مقیاس جهانی به دلیل مواجه با غلظت بالای ذرات معلق در هوای آزاد می‌باشد [۱، ۲]. ذرات معلق به خصوص ذرات قابل تنفس که دارای محدوده اندازه بین نانومتر تا ۱۰۰ میکرومتر می‌باشند، به دلیل داشتن عناصر سمی و قدرت واکنش بالا در دستگاه تنفس، به عنوان یکی از نگرانی‌های بزرگ در سطح جهانی تلقی می‌شوند. علاوه بر این در سال‌های اخیر ویژگی‌های ذرات معلق به منظور شناسایی منابع و مطالعه پدیده‌های شیمیایی اتمسفری از اهمیت و توجه بالایی برخوردار شده است [۳، ۴]. کل ذرات معلق هوای آزاد که به صورت TSP نیز نشان داده می‌شود می‌تواند به ذرات بزرگ‌تر و ریز تر (PM<sub>10</sub> و PM<sub>2.5</sub>) تقسیم‌بندی شوند که از این بین ذرات ریز تر پتانسیل نفوذ بیش‌تری به ریه‌ها داشته و ممکن است حتی به ناحیه‌ی آلوئول‌ها نیز برسند، بنابراین اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بیش‌تری مثل مرگ زودرس، افزایش علائم و بیماری‌های تنفسی، کاهش کارایی ریه و ایجاد تغییرات در بافت‌های ریوی را می‌توانند داشته باشند. علاوه بر این، ذرات معلق از طریق حمل فلزات سنگین (همچون آرسنیک، کروم، کادمیوم، سرب)، آنیون‌ها و کاتیون‌ها باعث ایجاد اثرات قابل توجه قلبی و عروقی شده که از این میان فلزات سنگین موجود در PM<sub>10</sub> نقش مهمی را در آلودگی هوا بر عهده‌دارند [۵]. فلزات سنگین شامل فلزات و شبه‌فلزاتی با چگالی اتمی ۴ گرم بر سانتی‌متر یا پنج برابر آب هستند. فلزات سنگین در اتمسفر در ترکیبات ریز و سبک شکل گرفته و به صورت معلق در هوا باقی‌مانده و قسمتی از آن در صورت بارش جوی حذف‌شده و قسمتی دیگر به همراه گردو غبار در اتمسفر به صورت ذرات معلق باقی می‌مانند. در محیط فلزات سنگین خود را به شکل‌های شیمیایی مختلفی عرضه کرده و از راه‌های مختلف همچون منابع طبیعی (سنگ‌های معادن، غبارهای آتشفشانی و غیره) و مصنوعی (صنایع رنگرزی، آبکاری فلزات، باتری سازی و غیره) انتشار می‌یابند [۶]. وجود فلزات سنگین در هوای تنفسی نه‌تنها سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کند بلکه

بر ساختار اکوسیستم نیز تأثیر می‌گذارند، علاوه بر این فلزات سنگین در غلظت بالا اثر نامناسب بر جذب و انتقال عناصر ضروری، مختل کردن متابولیسم و اثر شدید بر رشد و تولیدمثل دارند، هم‌چنین باعث بیماری‌هایی همچون ساتورنیسم، مرکوریالیسم، آلزایمر، سرطان‌زایی و تأثیر بر سیستم اعصاب مرکزی، کلیه، کبد، استخوان‌ها و پوست می‌شوند [۶، ۷]. شایان‌ذکر است که آلاینده‌های گازی هم‌چنین می‌توانند در ایجاد بیماری‌های قلبی عروقی، تنفسی و حتی مرگ نیز نقش داشته باشند [۸، ۹]. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در مورد تعیین میزان فلزات سنگین بر روی ذرات قابل استنشاق انجام‌شده است. چلانی و همکاران از ژانویه ۱۹۹۳ تا دسامبر ۱۹۹۸ میزان فلزات سنگین موجود در هوای شهر بمبئی هند را مورد مطالعه قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که ذرات قابل استنشاق و فلز سرب از جمله عمده‌ترین آلاینده‌های منتشره از صنایع و سوزاندن زباله بوده و بالاترین غلظت فلزات در فصل زمستان رخ داده است [۱۰]. پیک و موران در مطالعه خود گزارش دادند که غلظت فلزات در آئروسل و ذرات قابل ته‌نشین یک درجه بیش‌تر از ذرات ریزتر در طول سال بوده است [۱۱]. تاکو و همکاران در مطالعه خود به ارتباط قوی بین غلظت فلزات و پارامترهای آب و هوایی و فعالیت انسانی مرتبط به هر منطقه اشاره کردند [۱۲]. لی و پارک در مطالعه خود با عنوان ویژگی فلزات سنگین در کل ذرات معلق موجود در هوای غباری و عادی، گزارش دادند که میانگین غلظت TSP، سرب و منگنز در هوای غباری چندین برابر هوای عادی می‌باشد [۱۳]. با توجه به ترکیب پیچیده ذرات معلق، تعیین این‌که چه خصوصیتی از ذرات معلق باعث اثرات منفی در سلامت انسان‌ها می‌شود بسیار مشکل است و هم‌چنین اطلاعات کافی در این زمینه موجود نیست. اگر ترکیبات و خصوصیات ذرات معلق بتوانند به اثرات منفی بر سلامت مرتبط شوند، می‌توان ارتباط این اثرات منفی را به منابع آلوده‌کننده پیدا کرد، چراکه این اطلاعات برای تعیین استراتژی‌های کنترل و کاهش بسیار ارزشمند است. لذا با توجه به اثرات سوء فلزات سنگین موجود در ذرات PM<sub>10</sub> بر روی انسان و هم‌چنین با توجه به این‌که شهر اهواز به دلیل وجود منابع غنی نفت، گاز، صنایع پتروشیمی، صنایع بزرگ فلزی و غیرفلزی، سلولزی، برق و نیز شرایط آب‌وهوای گرم و مرطوب و با توجه به وقوع طوفان‌های گردو غبار در چند سال اخیر در اکثر فصول سال دارای مشکل آلودگی هواست،

فلزات موجود در نمونه‌ها از دستگاه<sup>۱</sup> ICP مدل آرکوز استفاده شد [۱۸].

### ۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق این شکل میانگین کلی غلظت  $PM_{10}$  در فصل بهار و تابستان به ترتیب برابر با  $222/6$  و  $202/62$  میکروگرم در متر مکعب می‌باشد که میانگین غلظت هر دو فصل بالاتر از میانگین  $24$  ساعته استاندارد NAAQ ( $\mu g/m^3$ ) می‌باشد. همچنین در مقایسه با مقادیر غلظت  $PM_{10}$  به دست آمده در کشورهای صنعتی همچون ژاپن (توکيو:  $38 \mu g/m^3$ )، انگلیس (لندن:  $28 \mu g/m^3$ ) و دیگر کشورهای آسیای شرقی و اروپا (متوسط  $100 \mu g/m^3$ ) بالا می‌باشد. کیو لی و تاهو در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ی خود با عنوان تغییرات فصلی فلزات سنگین در آئروسول اتمسفری در شهر اولسان کره به این نتیجه رسیدند که مقدار ذرات  $PM_{10}$  در فصل زمستان و بهار بیشتر از فصل تابستان می‌باشد که علت آن را هوای سرد و اینورژن در این دو فصل دانستند [۱۹].

علاوه بر این، در جدول ۱ غلظت  $PM_{10}$  در روزهای گرد و غباری و عادی برای هر دو فصل مقایسه گردید. نتایج حاصل نشان داد که میانگین غلظت این ذرات در روزهای گرد و غباری در فصل بهار و تابستان به ترتیب برابر با  $300$  و  $278/33$  میکروگرم در متر مکعب می‌باشد که حدود ۲ برابر میانگین غلظت ذرات در روزهای با هوای عادی بوده و این غلظت بالای روزهای گرد و غباری در شهر اهواز را می‌توان به دلیل هم‌جواری با بیابان‌های خشک در غرب شهر نسبت داد. نتایج مطالعه مشابهی که توسط شاهسونی و همکاران بر روی آلودگی هوا در شهر اهواز انجام شد، بالا بودن ذرات معلق در این شهر را نشان می‌دهد که نویسندگان علت آن را میزان بارش اندک در این استان و هم‌جواری با بیابان‌های خشک در غرب شهر اهواز دانستند [۱۸]. همچنین مطالعه دراکسلر و همکاران نشان داد که غلظت ذرات در روزهای گرد و غباری در کشورهای عراق، کویت، عربستان و امارات به بیش از  $3000 \mu g/m^3$  رسیده که علت این مقادیر را هم‌جواری با بیابان‌های خشک عنوان کرده اند [۲۰]. علاوه بر این، نتایج حاصل در شکل ۱ میزان غلظت فلزات سنگین در دو فصل بهار و تابستان را در روزهای عادی و گرد و غباری نشان می‌دهد. غلظت فلزات سنگین در روزهای مختلف ماه (روز هوای عادی و گرد و غباری) متفاوت بوده و در برخی روزهای فصل بهار و تابستان به حداقل خود رسیده و در

لذا هدف از این مطالعه با توجه به موارد ذکر شده، بررسی میزان غلظت ذرات  $PM_{10}$  و چندین فلز سنگین مهم موجود در آن‌ها در هوای شهر اهواز بود [۱۴].

### ۲- مواد و روش‌ها

شهر اهواز مرکز استان خوزستان، یکی از کلان شهرهای ایران است. این شهر با جمعیت بیش از یک میلیون نفر با  $250$  کیلومتر مربع مساحت در بخش مرکزی شهرستان اهواز در موقعیت جغرافیایی  $31$  درجه و  $32$  دقیقه عرض شمالی و  $48$  درجه و  $68$  دقیقه طول شرقی در بخش جلگه‌ای خوزستان و با ارتفاع  $18$  متر از سطح دریا واقع می‌باشد [۱۵]. وجود کارخانه‌های بزرگ صنعتی نظیر فولاد، تأسیسات اداری و صنعتی، شرکت مناطق نفت خیز جنوب و شرکت ملی حفاری ایران، اهواز را به یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی ایران تبدیل کرده است. هرچند این امر سبب روانه شدن بسیاری از مهاجران به این کلان‌شهر در گذشته بسیار دور شده بود ولی مطالعات اخیر نشان داده است که تمایل به مهاجرت از اهواز به سایر شهرها به دلیل شرایط نامساعد زیست‌محیطی روبه افزایش است [۱۶، ۱۷]. این مطالعه به منظور تعیین میزان غلظت ذرات  $PM_{10}$  و فلزات سنگین موجود در آن‌ها در طی دو فصل بهار و تابستان انجام گردید. محل نمونه‌برداری در یک مکان نسبتاً پرترافیک و در مرکز شهر، با ارتفاع مناسب از سطح زمین برای جمع‌آوری نمونه واقعی و دقیق‌تر قرار داشت.

نمونه‌برداری طبق متد EPA با فواصل زمانی ۶ روزه (حداقل ۵ نمونه در هر ماه) با استاندارد رعایت فاصله دو برابر از موانع و فاصله ( $>20$ ) از خیابان، منبع تولید آلودگی هوا و نزدیک‌ترین درخت، از طریق نمونه‌برداری توسط پمپ های والیوم با دبی  $1/7-1/1$  مترمکعب در دقیقه و مدت زمان  $24$  ساعت انجام گردید. همچنین پارامترهای دما، فشار و رطوبت هم‌زمان با شروع نمونه‌برداری و در انتهای نمونه‌برداری یادداشت گردید. پس از نمونه‌برداری، فیلتر فایبرگلاس را خرد و داخل ظرف تفلونی ریخته و پس از اضافه کردن اسیدها (نیتریک، کلریدریک و فلوریک) به مدت ۴ ساعت در دمای  $170$  درجه سانتی‌گراد در داخل فور گذاشته شد. بعد از خنک شدن به نمونه اسید نیتریک غلیظ و آب مقطر دو بار تقطیر شده اضافه گردید و پس از شیک کردن نمونه با عبور از صافی واتمن با قطر منافذ  $0/42$  میکرون صاف گردید و بعد از عبور کامل، نمونه با آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم رسانده شد و جهت تعیین میزان

بعضی روزها به خصوص روزهای گرد و غباری به بالاترین غلظت خود رسیده است. طبق این شکل غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات PM<sub>10</sub> در روزهای گرد و غباری به طور قابل توجهی در مقایسه با روزهای عادی افزایش یافته‌اند بطوریکه با افزایش میزان ذرات PM<sub>10</sub> در روزهای گرد و غباری میزان فلزات نیز افزایش داشته است. به‌عنوان مثال در فصل بهار میانگین غلظت سرب، روی و کادمیوم در روزهای گرد و غباری نسبت به روزهای عادی به ترتیب ۱/۲۶، ۱/۲۴ و ۱/۹۲ برابر روزهای عادی می‌باشد که این نتیجه حمل بیش‌تر فلزات توسط ذرات معلق منتشرشده از منابع نقطه‌ای و خطی را نشان می‌دهد. تاکور و همکاران در مطالعه خود نشان دادند که ارتباط قوی بین غلظت فلزات و پارامترهای آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی مرتبط به فصول سال وجود دارد [۲۱]. همچنین نتایج مطالعات آریموتو و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان داد که غلظت‌های عناصر آلومینیوم، آهن، کلسیم، روی، تیتانیوم و سرب در زمان رخداد گرد و غبار نسبت به روزهای عادی افزایش قابل توجهی داشت [۲۲].

فلزات سنگین موجود در آئروسول‌ها از منابع مختلفی همچون منابع طبیعی و مصنوعی انتشار می‌یابند که برای تعیین و ارزیابی نوع منبع فلزات سنگین منتشر یافته روی ذرات معلق از فاکتور غنی‌سازی (EF) می‌توان استفاده کرد. در این فرمول برای منابع طبیعی یعنی قشر زمین، فلز آلومینیوم (Al) به‌طور معمول به عنوان فلز اندیکاتور استفاده شده و از فلز سرب (Pb) و روی (Zn) به عنوان فلز اندیکاتور منتشره از منابع صنعتی و وسایل نقلیه استفاده می‌گردد.

فاکتور غنی‌سازی (EF) با استفاده از فرمول ذیل که توسط چستر و همکاران به‌دست آمده محاسبه می‌گردد [۳].

$$EF = \frac{C_{XP} / C_P}{C_{XC} / C_C}$$

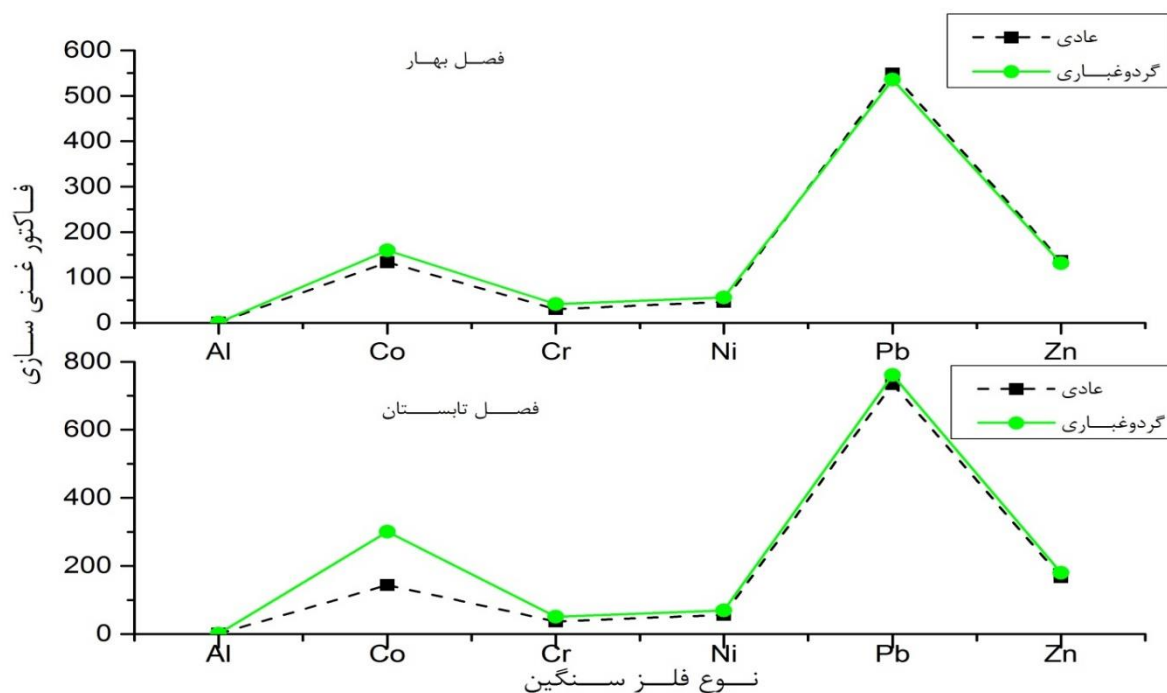
در این معادله  $C_P$  و  $C_{XP}$  به ترتیب غلظت فلز X و آلومینیوم در ذرات بوده و  $C_C$  و  $C_{XC}$  به ترتیب غلظت آن‌ها در مواد قشری زمین می‌باشد. طبق این معادله در صورتی که مقدار فاکتور غنی‌سازی کم‌تر از ۱۰ به دست بیاید نشان‌دهنده این است که فلز موجود در ذرات معلق از منابع قشر زمین بوده و اگر بالای ۱۰ باشد نشان‌دهنده منبع غیر قشر زمینی می‌باشد [۲۳]. نتایج حاصل از فاکتور غنی‌سازی

محاسبه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این قسمت پژوهش نشان داد که فلز آلومینیوم جز منابع زمینی بوده به گونه‌ای که طوفان‌های گرد و غبار بر آن مؤثر بوده و فلز روی و سرب جزء منابع غیر زمینی مانند انتشارات از وسایل نقلیه و صنایع بوده است. تاهیر و همکاران در مطالعه خود با عنوان تعیین غلظت فلزات جزئی در هوای شهر کوالالامپور مالزی نشان دادند که فلزات کادمیوم، روی و سرب ( $EF > 10$ ) از منابع مصنوعی بوده و فلز آلومینیوم ( $EF < 10$ ) از منابع قشر زمینی بوده است [۳]. همچنین در مطالعه هاریتیش و همکاران با بررسی فاکتور غنی‌سازی مشخص گردید که سرب، مس، نیکل و آرسنیک از منابع ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده و منگنز و منیزیم از منابع طبیعی بوده است [۱]. محاسبات همبستگی یک روش مناسب و آزمایش شده برای توصیف منابع آئروسول معلق و فلزات سنگین می‌باشد. جدول ۲ همبستگی خطی پیرسون را برای نمونه‌های فلزات سنگین نشان می‌دهد. طبق این جدول ارتباط قوی بین تمامی فلزات مطالعه شده با ذرات PM<sub>10</sub> وجود دارد که می‌تواند نشان دهنده این باشد که این فلزات توسط ذرات موجود در هوا حمل می‌شوند. همچنین همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود بین خود فلزات سنگین نیز ارتباط قوی وجود دارد اما با توجه به ضریب همبستگی پیرسون این ارتباط بین بعضی از فلزات ضعیف‌تر می‌باشد به عنوان مثال بین آلومینیوم با کبالت و کادمیوم ارتباط ضعیف‌تری وجود دارد.

نتایج این مطالعه با مطالعات دیگر همچون مطالعه لی و همکاران، پاندی و همکاران و مومانی مشابه می‌باشد [۳]. ۲۴، ۲۵. جدول ۳ مقایسه فلزات موجود در ذرات PM<sub>10</sub> در این پژوهش را با دیگر مطالعات نشان می‌دهد. طبق این شکل غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در این مطالعه نسبت به دیگر مطالعات انجام شده در مناطق صنعتی و شهری پایین بوده است. این اختلاف در غلظت فلزات سنگین در شهرهای مختلف جهان به عوامل بسیار زیادی مرتبط می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به تفاوت در شرایط هواشناسی (مثل رطوبت، بارش، دما و...)، موقعیت جغرافیایی، میزان صنعتی بودن و وجود استانداردهای زیست‌محیطی و بهداشتی کنترل آلودگی هوا اشاره کرد.

جدول ۱- میانگین غلظت ذرات معلق و فلزات موجود در آن‌ها در هوای شهر اهواز در روزهای پاک و گردوغباری.

آلاینده ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	فصل بهار (هوای عادی)	روز گردوغبار در فصل بهار	فصل تابستان (هوای عادی)	روز گردوغبار در فصل تابستان
PM <sub>10</sub>	۱۴۵/۲۱	۳۰۰	۱۲۶/۹۲	۳۳/۲۷۸
Cd	۲۴۹/	۴۸/	۲۱۶/	۵۸/
Co	۴۲۶/	۶۶/	۳۵/	۷۲/
Cr	۸۰/	۱/۴۳	۶۵/	۱/۰۰۲
Ni	۱/۳۲	۲/۰۹	۱/۰۷	۱/۵۰
Pb	۳/۵۰	۴/۴۲	۳/۱۳	۳/۶۵
Zn	۳/۴۷	۴/۳۲	۲/۸۸	۳/۴۵
AL	۲۵/۵۰	۳۲/۹۸	۱۷/۰۵	۱۹/۱۷



شکل ۱- توزیع فاکتور غنی‌سازی برای فلزات سنگین موجود در هوای شهر اهواز

جدول ۲- همبستگی ماتریسی فلزات در ترکیب ذرات معلق

	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	PM10
Cd p	۱							
Co p	۰/۹۸۷ < ۰/۰۱	۱						
Cr p	۰/۸۰۳ < ۰/۰۱	۰/۸۵۳ < ۰/۰۱	۱					
Ni p	۰/۷۴۹ < ۰/۰۱	۰/۸۰۱ < ۰/۰۱	۰/۹۵۳ < ۰/۰۱	۱				
Pb p	۰/۷۳۳ < ۰/۰۱	۰/۷۹۶ < ۰/۰۱	۰/۹۴۲ < ۰/۰۱	۰/۹۵۸ < ۰/۰۱	۱			
Zn p	۰/۶۹۳ < ۰/۰۱	۰/۷۶۷ < ۰/۰۱	۰/۹۳۵ < ۰/۰۱	۰/۹۵۷ < ۰/۰۱	۰/۹۷۱ < ۰/۰۱	۱		
Al p	۰/۵۱۷ < ۰/۰۱	۰/۶۱۷ < ۰/۰۱	۰/۸۷۲ < ۰/۰۱	۰/۸۵۰ < ۰/۰۱	۰/۹۰۰ < ۰/۰۱	۰/۹۱۸ < ۰/۰۱	۱	
PM10	۰/۹۲۰ < ۰/۰۱	۰/۹۳۸ < ۰/۰۱	۰/۹۳۲ < ۰/۰۱	۰/۸۸۴ < ۰/۰۱	۰/۸۵۷ < ۰/۰۱	۰/۸۵۶ < ۰/۰۱	۰/۶۹۸ < ۰/۰۱	۱

نکته: p بیانگر مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می باشد.

**جدول ۳- مقایسه غلظت فلزات سنگین (ng /m<sup>3</sup>) مطالعه حاضر با دیگر مطالعات**

مکان	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل	روی	رفرنس
اهواز، ایران	۳/۶۶	۳۵	۱۹۵۵	۱/۴۸	۳/۵	مطالعه حاضر
کوالالامپور، مالزی	۱۸۱	-	-	-	۸۷	[۲۶]
پکن، چین	۴۳۰	۷	۱۹	-	۷۷۰	[۲۷]
هوچی، ویتنام	۱۲۵	-	۶	-	۲۹۹	[۲۸]
تیچانگ، تایوان	۵۷۴	۹	۲۹	-	۳۹۵	[۲۹]
اسلام‌آباد، پاکستان	۱۶۳	۳	۳۶	-	۵۶۷	[۳۰]
اهواز، ایران (سال ۸۹)	۴/۲۹	۲/۸۱	۴/۱۹	-	۲۷/۱	[۳۱]
اصفهان، ایران	۱۱۷	۴/۴	۱۲/۳	۱۳	۳۴۸	[۳۲]

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده ذرات PM<sub>10</sub> در دو فصل مطالعه شده در ایستگاه نمونه‌برداری بیش‌تر از استانداردهای معتبر بوده که این می‌تواند در درازمدت برای افراد ساکن در این محیط مخاطره‌آمیز باشد. هم‌چنین بر پایه آنالیز همبستگی واریانس و فاکتور غنی‌سازی (EF) مشخص شد که بیش‌تر فلزات از منابع حاصل از فعالیت‌های انسانی منتشر می‌یابند. بنابراین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت و اثرات بیش‌تر ذرات PM<sub>10</sub> و فلزات سنگین، در سال‌های آتی مطالعات و بررسی‌های بیش‌تری در مورد غلظت، اثرات و ارتباط آن با بیماری‌های به وجود آمده در طی دوره آلودگی صورت گیرد و راه کارهای کنترلی همچون مالچ پاشی، حذف دستگاه‌های فرسوده فعال در صنایع، استفاده از بنزین بدون سرب مورد توجه قرار گیرد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل قسمتی از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد آقای محمد حیدری فارسانی می‌باشد و تمامی هزینه‌های این پژوهش از طریق طرح تحقیقاتی به شماره ETRC9202 توسط مرکز تحقیقات زیست محیطی و معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز تأمین گردید.

#### پی‌نوشت

<sup>1</sup> Inductively Coupled Plasma

#### منابع

- [1] Haritash A, Kaushik C. Assessment of seasonal enrichment of heavy metals in respirable suspended particulate matter of a sub-urban Indian city. *Environmental monitoring and assessment*; 2007;128(1-3):411-420.
- [2] López J, Callén M, Murillo R, Garcia T, Navarro M, De la Cruz M, Mastral A. Levels of selected metals in ambient air PM<sub>10</sub> in an urban site of Zaragoza (Spain). *Environmental research*; 2005;99(1):58-67.
- [3] Tahir N M, Poh S, Suratman S, Ariffin M, Shazali N, Yunus K. Determination of trace metals in airborne particulate matter of Kuala Terengganu, Malaysia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*; 2009;83(2):199-203.
- [4] Amodio M, Andriani E, Caselli M, Dambruoso P R, Daresta B E, de Gennaro G, Ielpo P, Placentino C M, Tutino M. Characterization of particulate matter in the Apulia Region (South of Italy): features and critical episodes. *Journal of atmospheric chemistry*; 2010;63(3):203-220.
- [5] Pastuszka J S, Rogula-Kozłowska W, Zajusz-Zubek E. Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> and associated heavy metals at the crossroads and urban background site in Zabrze, Upper Silesia, Poland, during the smog episodes. *Environmental monitoring and assessment*; 2010;168(1-4):613-627.
- [6] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*; 2008;151(2):362-367.
- [7] Lazor P, Tomáš J, Tóth T, Tóth J, Čéryová S. Monitoring of air pollution and atmospheric deposition of heavy metals by analysis of honey. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*; 2012;1(4):522-533.
- [8] Goudarzi G, Mohammadi M J, Angali K A, Neisi A K, Babaei A A, Mohammadi B, Soleimani Z, Geravandi S. Estimation of Health Effects Attributed to NO<sub>2</sub> Exposure Using AirQ Model. *Archives of Hygiene Sciences*; 2011;1(2).
- [9] Goudarzi G, Zallaghi E, Neissi A, Ankali K A, Saki A, Babaei A A, Alavi N, Mohammadi M J.

- [20] Draxler R R, Gillette D A, Kirkpatrick J S, Heller J. Estimating PM<sub>10</sub> air concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait and Saudi Arabia. *Atmospheric Environment*; 2001;35:4315-4330.
- [21] Thakur M, Kanti Deb M, Imai S, Suzuki Y, Ueki K, Hasegawa A. Load of Heavy Metals in the Airborne Dust Particulates of an Urban City of Central India. *Environmental Monitoring and Assessment*; 2004;95(1-3):257-268.
- [22] Arimoto R, Kim Y, Kim Y, Quinn P, Bates T, Anderson T, Gong S, Uno I, Chin M, Huebert B. Characterization of Asian dust during ACE-Asia. *Global and Planetary change*; 2006;52(1):23-56.
- [23] Herut B, Nimmo M, Medway A, Chester R, Krom M D. Dry atmospheric inputs of trace metals at the Mediterranean coast of Israel (SE Mediterranean): sources and fluxes. *Atmospheric Environment*; 2001;35(4):803-813.
- [24] Al-Momani I. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: acidity and possible sources. *Atmospheric Environment*; 2003;37(32):4507-4515.
- [25] Pandey P, Patel K, Šubrt P. Trace elemental composition of atmospheric particulate at Bhilai in central-east India. *Science of the Total Environment*; 1998;215(1):123-134.
- [26] M. Rashid, Rahmalan A, Khalik A. Characterization of Fine and Coarse Atmospheric Aerosols in Kuala Lumpur. *Pertanika J. Sci. & Technol*; 1997;5(1):25-42.
- [27] Okuda T, Kato J, Mori J, Tenmoku M, Suda Y, Tanaka S, He K, Ma Y, Yang F, Yu X, Duan F, Lei Y. Daily concentrations of trace metals in aerosols in Beijing, China, determined by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation analysis, and source identification of aerosols. *Science of the Total Environment*; 2004;330(1-3):145-158.
- [28] Hien P D, Binh N T, Truong Y, Ngo N T, Sieu L N. Comparative receptor modelling study of TSP, PM<sub>2</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> in Ho Chi Minh City. *Atmospheric Environment*; 2001;35(15):2669-2678.
- [29] Fang G-C, Chang C-N, Chu C-C, Wu Y-S, Fu P P-C, Yang I L, Chen M-H. Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> aerosols at a farm sampling site in Taiwan, Taichung. *Science of the Total Environment*; 2003;308(1-3):157-166.
- Cardiopulmonary mortalities and chronic obstructive pulmonary disease attributed to ozone air pollution. *Archives of Hygiene Sciences*; 2013;2(2).
- [10] Chelani A, Gajghate D, Hasan M. Airborne toxic metals in air of Mumbai city, India. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*; 2001;66(2):196-205.
- [11] Pike S, Moran S. Trace elements in aerosol and precipitation at New Castle, NH, USA. *Atmospheric Environment*; 2001;35(19):3361-3366.
- [12] Thakur M, Deb M K, Imai S, Suzuki Y, Ueki K, Hasegawa A. Load of heavy metals in the airborne dust particulates of an urban city of central India. *Environmental monitoring and assessment*; 2004;95(1-3):257-268.
- [13] Lee B-K, Park G-H. Characteristics of heavy metals in airborne particulate matter on misty and clear days. *Journal of hazardous materials*; 2010;184(1):406-416.
- [14] Perry R, Young R J. *Handbook of air pollution analysis*. Chapman and Hall Ltd., 11 New Fetter Lane, London EC4P 4EE; 1977. p.
- [15] Rad H D, Babaei A A, Goudarzi G, Angali K A, Ramezani Z, Mohammadi M M. Levels and sources of BTEX in ambient air of Ahvaz metropolitan city. *Air Quality, Atmosphere & Health*; 1-10.
- [16] Derakhshandeh M, Rostami M H, Goudarzi G, Rostami M Z. *Advances in Civil and Environmental Engineering*.
- [17] Goudarzi G, Shirmardi M, Khodarahmi F, Hashemi-Shahraki A, Alavi N, Ankali K, Babaei A, Soleimani Z, Marzouni M. Particulate matter and bacteria characteristics of the Middle East Dust (MED) storms over Ahvaz, Iran. *Aerobiologia*; 2014;30(4):345-356.
- [18] Shahsavani A, Naddafi K, Jafarzade Haghighifard N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, Arahani M, Sowlat M, Yarahmadi M, Saki H. The evaluation of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *Journal of Arid Environments*; 2012;77:72-83.
- [19] Lee B-K, Hieu N T. Seasonal variation and sources of heavy metals in atmospheric aerosols in a residential area of Ulsan, Korea. *Aerosol and Air Quality Resarch*; 2011;11(6):679-688.

- [30] Shah M H, Shaheen N, Jaffar M, Khalique A, Tariq S R, Manzoor S. Spatial variations in selected metal contents and particle size distribution in an urban and rural atmosphere of Islamabad, Pakistan. *Journal of Environmental Management*; 2006;78(2):128-137.
- [31] Shahsavani A, Naddafi K, Jaafarzadeh Haghighifard N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, Arhami M, Yarahmadi M, Sowlat M, Ghani M, Jonidi Jafari A, Alimohamadi M, Motevalian S, Soleimani Z. Characterization of ionic composition of TSP and PM<sub>10</sub> during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*; 2012;184(11):6683-6692.
- [32] Talebi SM, Tavakoli Ghanani T. Level of PM<sub>10</sub> and its chemical composition in the Atmosphere of the city of Isfahan. *Iran J Chem Eng*; 2008;5(3):62-67.

